

補助事業番号 2021M-182

補助事業名 2021年度高齢者の健口状態と窒息・誤嚥リスクを評価する革新的食事見守りシステムの開発補助事業

補助事業者名 国立大学法人岩手大学工学部 准教授 佐々木 誠

1 研究の概要

本補助事業では、研究代表者が保有する技術シーズ「耳周辺の生体信号を用いたキャリブレーションフリーな咀嚼・嚥下の検出法(特願2020-154659)」をもとに、筋電センサ、マイクロフォン、呼吸センサ、伸縮性ひずみセンサで構成される小型・軽量のウェアラブルシステムを開発した。また、各センサ情報から、咀嚼、嚥下、呼吸のイベントを検出するアルゴリズムを開発し、若年者と高齢者を対象とした食事データを収集・分析することで、提案手法の有効性を明らかにした。

2 研究の目的と背景

近年、嚥下機能低下に伴う誤嚥性肺炎や窒息により、年間約4万人もの高齢者が命を落としている。介護労働者のマンパワー不足が慢性化し、雇用体系が多様化する中で、食事摂取の状態や誤嚥・窒息リスクを付きっ切りで見守ることは困難であり、低栄養による誤嚥性肺炎の発症や窒息事故に発展するケースも少なくない。そのため、介護現場では、食事の様子や変化をとらえ、誤嚥・窒息の予防もしくは異常を検知する新しい見守りシステムの実現が求められている。

一方、既に開発されているウェアラブルセンサの多くは、嚥下もしくは咀嚼の検出に限定したものであり、誤嚥・窒息リスクと密接に関係する呼吸状態を含めた検出装置は未だ開発されていない。そこで本補助事業では、咀嚼、嚥下、呼吸の協調を評価しうる、新しいウェアラブルシステムの開発を目的とした。

3 研究内容 <http://www.mech.iwate-u.ac.jp/~makotosa/Research.html>

(1) 食事見守り用ウェアラブルシステムの開発

本補助事業で開発した食事見守り用ウェアラブルシステムの外観を図1に示す。本システムは、自在アームを有する軽量の耳装着型フレームに、側頭筋の筋活動を計測するための筋電センサ、嚥下音を計測するためのマイクロフォン、鼻呼吸を計測するためのPVDF(Polyvinylidene fluoride film)センサ、喉頭運動を計測するための伸縮性ひずみセンサ(オプション機能)を取り付ける形で構成した。このうち、PVDFセンサは、圧縮や伸びなどの形状変化に対して電圧を発生する圧電特性と、温度変化に対して電圧を発生する焦電特性を有する。本システムでは、焦電特性に着目し、かつ、鼻呼吸の温度変化を効率良く検出できるよう、図1の形状に設計した。そして、そのPVDFセンサを自在アームの先端に取り付けることで、視界や食事動作を妨げない呼吸計測を実現した。なお、各センサへの電源供給用バッテリーとPVDF用回路基板は、すべて制御BOXに集約し、Bluetoothにより計測データをPCに転送する仕様とした。また、ウェアラブルシステムの重さは、装着部が80g、制御ボックスが70gであり、装着負担の少ない計測装置を実現した。

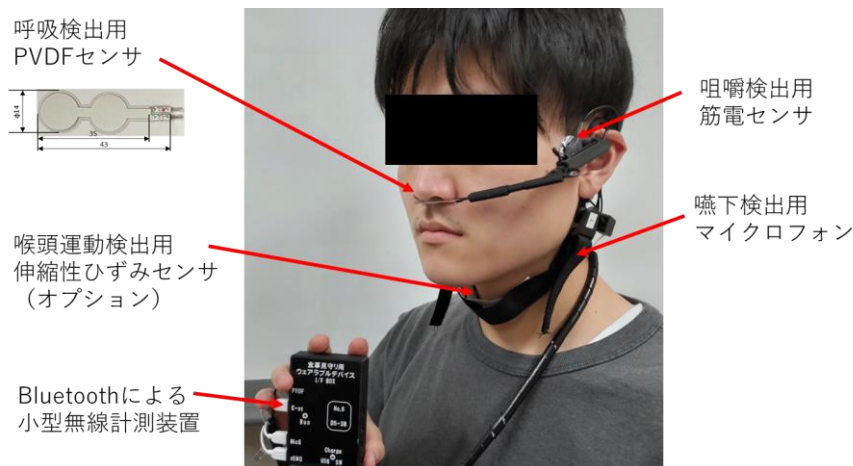


図1 開発した食事見守り用ウェアラブルシステムの外観

(2) 咀嚼・嚥下・呼吸の検出アルゴリズムの開発

開発したウェアラブルシステムの妥当性は、超音波画像診断装置、差圧式呼吸流量センサ、ビデオカメラ等による正解値と比較することで検証した(図2)。咀嚼、嚥下の検出は、研究代表者の特許技術(特願2020-154659)を用い、側頭筋の筋活動から咀嚼区間を検出した後、それ以外の区間で観測した音声情報から嚥下の有無を検出した。ただし、側頭筋の筋活動は、嚥下時に上下の歯面を合わせる咬合接触時にも観察されるため、筋活動のピーク値、周期等の情報から、外れ値検出により咬合接触を特定し、正確な咀嚼および嚥下の検出を実現した。嚥下は、オプション機能として利用可能な伸縮性ひずみセンサを用いて、喉頭挙上を計測することで、検出精度を高めることもできる。健常成人男性5名(年齢 22.6 ± 1.0 歳)を対象とした検証実験では、米飯10gやグミ1粒の咀嚼を外れ値3%未満で検出できること、また、嚥下は誤検出しないことを確認した。

呼吸の検出は、PVDFセンサの出力信号をフィルタ処理でノイズ除去した後、2階微分により変曲点を検出することで、「呼気時間」、「吸気時間」、ならびに、その総和である「呼吸時間」を求めた。健常成人男性6名(年齢 22.3 ± 1.7 歳)を対象とした検証実験では、正常呼吸(20回/分)、頻呼吸(25回/分)、除呼吸(12回/分)のいずれの呼吸リズムにおいても、呼気・吸気時間の平均誤差は0.08秒未満となり、差圧式呼吸流量センサと同程度の精度で計測できることを明らかにした。

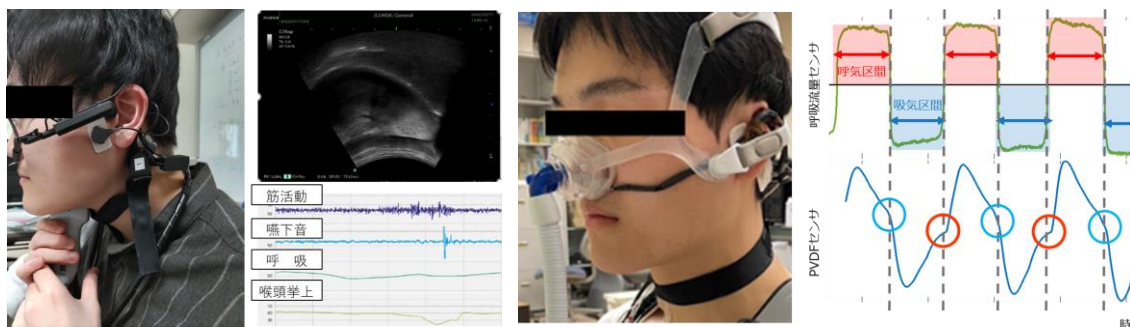


図2 超音波画像診断装置および差圧式呼吸流量センサとの比較の様子

さらに、同被験者に対して、呼気中、吸気中の各タイミングで嚥下を指示し、差圧式呼吸流量センサにより目視でパターン分類したところ、呼気-嚥下-呼気(EE)タイプが16試行、呼気-嚥下-吸気(EI)タイプが4試行、吸気-嚥下-呼気(IE)タイプが9試行、判別不可データが7試行あった。これに対し、本システムを用いて嚥下区間を特定し、嚥下前後の呼吸相を検出したところ、判別可能データ全29試行のうち誤検出は1試行に留まり、97%の精度で嚥下前後の呼吸パターンを検出できることが示された。嚥下後に呼気から呼吸を再開することは、咽頭残留物の吸引を防ぐ誤嚥防御メカニズムの意味を持ち、健常成人の90%はこの呼吸パターンを有する。一方、誤嚥しやすい高齢者の場合には、吸気から呼吸を再開する割合が高くなることが知られており、本システムはそのリスク評価においても有益と考えられる。

(3) 食事中の咀嚼・嚥下パラメータと口腔機能の関係性

咀嚼・嚥下パラメータと口腔機能の関係を評価するために、若年者11名(年齢 22.0 ± 1.1 歳)と高齢者11名(年齢 71.5 ± 3.5 歳)を対象とした食事計測(米飯10g, グミ1粒)を行った。また、口腔機能の評価には、日本老年歯科医学会が提唱し、保険導入された「口腔機能低下症検査」を用いた。本検査は、①舌苔付着検査(口腔不潔)、②唾液量検査、③咬合力検査、④舌口唇運動機能低下検査、⑤舌圧検査、⑥咀嚼機能低下検査、⑦嚥下機能低下検査の7項目のうち、3つの項目で基準値を満たさない場合に、口腔機能低下症と診断するものである。

全被験者のうち、3項目以上で基準値を下回った被験者は、高齢者3名であった。また、各検査項目の群間比較を行ったところ、オーラルディアドコキネシスと舌圧が、加齢により有意に低下することが示された。また、咀嚼・嚥下データからは、高齢者群ほど咀嚼速度が低下し、同量の食品に対する嚥下回数が増加する傾向が示された。口腔機能低下症の検査項目と咀嚼・嚥下パラメータの比較では、嚥下回数とオーラルディアドコキネシスの間に有意な相関が認められた。また、咬合力、舌圧、オーラルディアドコキネシスが低いほど、咀嚼回数は多く、咀嚼時間と食事時間が延長する傾向が見られた。

本補助事業で開発したウェアラブルセンサは、自宅や高齢者施設等での日常的な食事データの収集を可能にする。今後は、より多くの高齢者や嚥下障害者を対象としたデータ収集を行い、口腔機能や嚥下機能(誤嚥・窒息リスク)等との関係性を詳細に分析する予定である。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本補助事業の成果により、下記のような利用・展開が期待される。咀嚼・嚥下・呼吸を簡便に計測・評価できるウェアラブルシステムを実用化し、高度な技術を必要なフィールドに還元することで、高齢者の健康寿命延伸に貢献したい。

- ・口腔機能・嚥下機能低下のスクリーニング
- ・食事状態の記録・管理・異常検知システム
- ・個々人に適した食事選択
- ・バイオフィードバック訓練装置

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者はこれまで、科研費基盤研究(C)「舌運動推定技術の高度化と嚥下機能評価・訓練支援システムへの応用, 2015～2017年度」や基盤研究(B)「深層学習を用いた舌骨上・下筋群の協調パターン解析に基づく嚥下機能評価技術の確立, 2018～2021年度」等の支援を受け、嚥下の主要筋である舌骨上筋群と舌骨下筋群の筋活動から、嚥下機能を評価する様々なAI技術(特許7件)を開発してきた。2019年度からは、食事の見守りシステムに研究を展開し、耳周辺の生体信号を用いた咀嚼・嚥下の検出法(特願2020-154659)や、伸縮性ひずみセンサを利用した胸部運動からの嚥下時呼吸パターン検出法(日本顎口腔機能学会第65回学会優秀賞)の開発を進めてきた。本補助事業では、これらの工学技術をもとに、安全安心な食の場を創生することを目的とし、嚥下分野で先進的な研究を行っている東京医科歯科大学と長崎大学病院に加え、ウェアラブルセンサ開発の実績豊富な医療機器メーカーと協力体制を築いた。そして、高齢者が一人で装着・脱着でき、普段の食事場面で利用可能なウェアラブルシステム(ハードウェア)と、咀嚼・嚥下・呼吸の各イベントを検出するその信号処理アルゴリズム(ソフトウェア)を開発し、実験によりその有用性を示した。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 佐々木誠, 研究紹介, 第10回4校学術交流会, 2021
- (2) 杉本大輔, 佐々木誠, 佐々木颯真, 玉田泰嗣, 戸原玄, PVDFセンサを用いた嚥下・呼吸の協調パターン評価法の開発, 日本顎口腔機能学会第67回学術大会, 2022

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの
食事見守り用ウェアラブルシステム(一次試作, 二次試作)
- (2) (1)以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 岩手大学(イワテダイガク)

住 所: 〒020-8551

岩手県盛岡市上田4-3-5

担 当 者: 准教授 佐々木誠(ササキマコト)

担 当 部 署: 理工学部(リコウガクブ)

E - m a i l: makotosa@iwate-u.ac.jp

U R L: <http://www.mech.iwate-u.ac.jp/~makotosa>